

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 29 日 (29.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/091532 A1(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H04B 10/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/003852

(22) 国際出願日: 2004 年 3 月 22 日 (22.03.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友大阪セメント株式会社 (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO.,LTD) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 Tokyo (JP). 独立行政法人

情報通信研究機構 (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY, INCORPORATED ADMINISTRATIVE AGENCY) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1 Tokyo (JP).

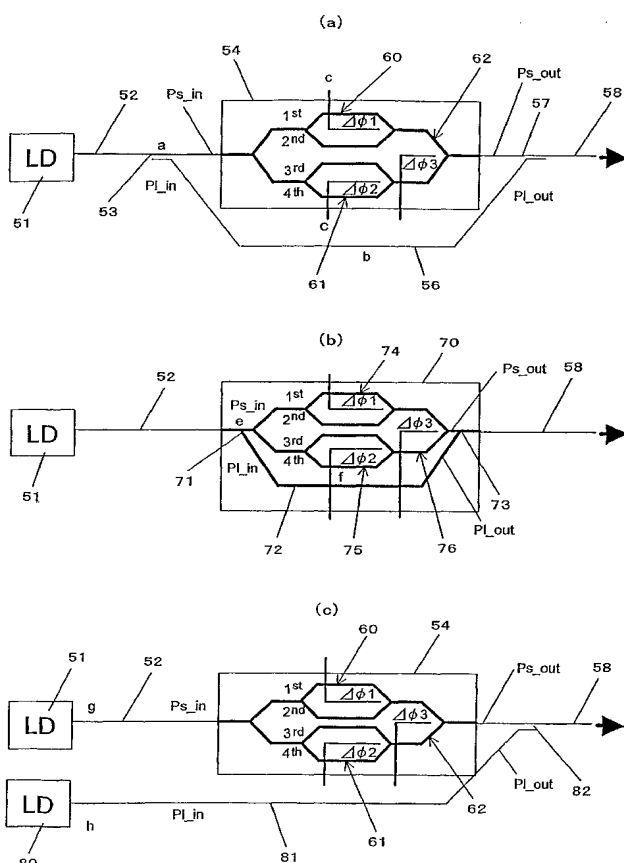
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 橋本 義浩 (HASHIMOTO, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 日隈 薫 (HIGUMA, Kaoru) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 市川 潤一郎 (ICHIKAWA, Junichiro) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR GENERATING CARRIER RESIDUAL SIGNAL AND ITS DEVICE

(54) 発明の名称: キャリア残留型信号の生成方法及びその装置



(57) Abstract: A method for generating a carrier residual signal and its device capable of generating a heterodyne optical signal for use in a photometric field or an optical fiber radio communication field stably with a simple structure. The carrier residual signal generator comprises a light source (51) generating a light wave having a specific wavelength and an optical modulating section including an SSB optical modulator (54), characterized in that an outgoing light wave from the light source impinges on the optical modulating section, an outgoing light wave from the optical modulating section contains a carrier component related to a zero-order Bessel function and a specific signal component related to a specific high-order Bessel function, signal components other than the specific high-order Bessel function are suppressed, and the ratio of optical intensity between the carrier component and the specific signal component is set substantially to 1. Preferably, the optical modulating section is characterized by comprising the SSB optical modulator (54) and a bypass optical waveguide (56) connecting together the input and output sections of the SSB optical modulator.

(57) 要約: 光計測分野や光ファイバ無線通信分野で利用されるヘテロダイン型の光信号を、簡単な構造で、しかも安定に発生させることを可能とするキャリア残留型信号の生成方法及びその装置を提供すること。特定波長を有する光波を発生する光源 51 と SSB 光変調器 54 を含む光変調部とを有し、該光源から出射する光波を該光変調部へ入射し、該光変調部より出射する光波が、0 次のベッセル関数に係るキャリア成分と特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分とを含み、該特定の高次のベッセル関数以外の信号成分を抑圧すると共に、該キャリア成分と該特定信号成分の光強度の比率が略 1 に設定されていることを特徴とする。

るキャリア残留型信号の生成装置である。好ましくは、該光変調部は、SSB 光変調器 54 と該 SSB 光変調器の入力部と出力部とを結ぶバイパス用光導波路 56 を有することを特徴とする。



社内 Tokyo (JP). 森 慎吾 (MORI, Shingo) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 荘司 洋三 (SHOJI, Yozo) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1 独立行政法人通信総合研究所内 Tokyo (JP). 小川 博世 (OGAWA, Hiroyo) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1 独立行政法人通信総合研究所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田村 爾 (TAMURA, Chikashi); 〒1070052 東京都港区赤坂 1 丁目 4 番 1 0 号 赤坂三鈴ビル 4 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

- すべての指定国のための不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))
- すべての指定国のための不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## キャリア残留型信号の生成方法及びその装置

技術分野

本発明は、キャリア残留型信号の生成方法及びその装置に関し、特に光計測分野や光ファイバ無線通信分野で利用されるヘテロダイン型の光信号を得るためのキャリア残留型信号の生成方法及びその装置に関する。

背景技術

光通信や光計測の分野において、周波数がわずかに異なる２つの光波を重ねあわせて「うなり（ビート）」を発生させ、この「うなり」から必要な情報を取り出すヘテロダイン法が利用されている。

近年では、動画配信サービスによる情報大容量化と情報コンテンツの多様化に伴い、広帯域な周波数資源を利用可能とするため、ミリ波帯（３０～３００GHz）の電波を使用する無線システムが検討されており、特に、ミリ波は、伝送距離が短いため、例えば特許文献１のように、長距離の伝送部分では光ファイバによる光通信を利用し、無線利用者や受信機の近傍では光通信の信号を無線通信に変換して利用する、光ファイバ無線通信方式が採用されている。また、ミリ波は、電氣的発振器で発生させることは大変困難であるが、ヘテロダイン法により異なる周波数を持つ光信号を光電気変換器（Ｏ／Ｅ変換器）に入力し、出力される電気信号を増幅することにより、容易に発生させることができる。

（特許文献１） 特開２００２－３５３８９７号公報

ヘテロダイン法に利用される周波数がわずかに異なる２つの光波を発生させる

には、従来よりゼーマンレーザーや一方の光波を周波数シフタで変更する方法などがある。しかしながら、ゼーマンレーザーはHe-Neレーザーを利用するなど装置が大きくなり、周波数シフタを利用する場合には、複数の光部品を組合わせて構成するため、光源回路が複雑化する上、温度変化等の環境変化により特性が変化するなどの問題がある。

また、複数の半導体レーザーを組合わせる場合でも、2つの光波を同一光軸上に調整する必要がある上、半導体レーザーが温度変化により出力特性が変化的ことから、2つの光波の周波数の差を一定に保持することが難しいなどの欠点を有していた。

他方、異なる周波数の光波を容易に得る方法として、本出願人は、単側波帯 (Single Side-Band、SSB) 光変調器を提案してきた。

SSB光変調器の一例は、以下の非特許文献1にも記載されている。

(非特許文献1) 論文「XカットLiNbO<sub>3</sub>を用いた光SSB-SC変調器」(日隈薫、他4名、p. 17~21、「住友大阪セメント・テクニカルレポート 2002年版」、住友大阪セメント株式会社新規技術研究所発行、平成13年12月8日)

SSB光変調器の動作原理について説明する。

図1は、キャリア抑圧をしないSSB光変調器の原理について示したものである。

光変調器の構造は、LiNbO<sub>3</sub>などの電気光学効果を有する基板上にTiなど拡散して図1のようなマッハツェンダー型光導波路を形成する。SSB光変調器としては、図1のように単一のマッハツェンダー型光導波路に限らず、後述する図2のように、2つのサブMZ (Mach-Zehnder) 光導波路MZ<sub>A</sub>、MZ<sub>B</sub>がメインMZ光導波路MZ<sub>C</sub>の各アームに並列に配置された入れ子型のMZ構造を

有するものも、用途に応じて利用可能である。

図 1 及び 2 では、マッハツェンダー型光導波路の分岐導波路に変調信号又は直流バイアス信号を印加する電極を、簡略化して図示しており、 $RF_A$ 、 $RF_B$ は、単一のマッハツェンダー型光導波路の 2 つの分岐導波路、あるいは図 2 に示すようなサブ MZ 光導波路  $MZ_A$ 、 $MZ_B$  に、マイクロ波の変調信号を印加するための進行波型コプレーナ電極を簡略化して図示したものである。また、 $DC_A$ 、 $DC_B$  は、単一のマッハツェンダー型光導波路の特定の分岐導波路、あるいはサブ MZ 光導波路  $MZ_A$ 、 $MZ_B$  に、さらに  $DC_C$  はメイン MZ 光導波路  $MZ_C$  に、各々所定の位相差を付与するための直流バイアス電圧を印加する位相調整用電極を簡略化して図示したものである。

SSB 光変調技術においては、原信号とヒルベルト変換された原信号との和をとることにより、SSB 変調信号が得られることが知られている。

キャリア抑圧をしない光 SSB 変調を実行するためには、図 1 のようなデュアル駆動の単独 MZ 変調器 (Z カット基板を利用した例を図示する。) を用いれば良い。

入射光を  $\exp(j\omega t)$  として、単一周波 RF 信号  $\phi \cos \Omega t$  を  $RF_A$  ポートから、また、この信号をヒルベルト変換した信号、 $H[\phi \cos \Omega t] = \phi \sin \Omega t$  を  $RF_B$  ポートからそれぞれ同時に入力する。

$\sin \Omega t = \cos(\Omega t - \pi/2)$  であるから、マイクロ波用の移相器を利用することにより、2 つの信号を同時に供給できる。ただし、 $\phi$  は変調度、 $\omega$ 、 $\Omega$  はそれぞれ光波とマイクロ波 (RF) 信号の各周波数を表す。

さらに  $DC_A$  ポートから適当なバイアスを加えて、MZ 光導波路の両アームを透過する光波に位相差  $\pi/2$  を付与する。

これらにより、合波地点での光波の位相項に着目した式は、以下の式 (1) で

表される。

$$\begin{aligned} & \exp(j\omega t) * \{\exp(j\phi \cos \Omega t) + \exp(j\phi \sin \Omega t) * \exp(j\pi/2)\} \\ & = 2 * \exp(j\omega t) * \{J_0(\phi) + j * J_1(\phi) \exp(j\Omega t)\} \cdot \cdot \cdot \cdot \\ (1) \end{aligned}$$

ここで、 $J_0$ 、 $J_1$ は、0次、1次のベッセル関数であり、2次以降の成分は無視している。

式(1)のように、0次と1次のスペクトル成分は、残存しているが、-1次成分( $J_{-1}$ )は失われている(これを、模式的に示すと、図1のMZ光導波路の右側に示したようなスペクトル分布をした光波が、MZ光導波路から出射される)。そして、 $J_0$ で表される0次スペクトル光の周波数は、入射光と同様に $\omega$ であり、 $J_1$ で表される1次スペクトル光の周波数は、 $\omega + \Omega$ であり、入射光の周波数からマイクロ波の周波数分だけ周波数シフトした周波数となる。

また、-1次成分( $J_{-1}$ )を残し、1次成分( $J_1$ )を消去するには、 $DC_A$ ポートに位相差 $-\pi/2$ を付与するバイアスを印加することで達成できる。この場合、-1次スペクトル光は、 $\omega - \Omega$ の周波数を有する。

次に、キャリア成分である0次のベッセル関数を抑圧する方法について説明する。

図2は、キャリア抑圧光単側波帯 (Single Side-Band with Suppressed Carrier、SSB-SC) 光変調器の光導波路を模式的に表した図である。SSB-SC光変調器の場合には、図2に示すように、単独MZ干渉系の両アームに、サブMZ干渉系を備えた設計になっている。

このサブMZ光導波路には、図3に示すような信号を印加する。これは、通常の強度変調をボトム駆動で行っている場合と同じ状況と考えて良い。

このとき、出射光の位相項に着目した式は、次の式(2)により表される。

$$\begin{aligned} & \exp(j\omega t) * \{\exp(j\phi \sin \Omega t) + \exp(-j\phi \sin \Omega t) * \exp(j\pi)\} \\ & = 2 * \exp(j\omega t) * \{J_{-1}(\phi) \exp(-j\Omega t) + J_1(\phi) \exp(j\Omega t)\} \\ & \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

これにより、キャリア成分を含む偶数次のスペクトル成分がキャンセルされていることが分かる（これを、模式的に示すと、図3のMZ光導波路の右側に示したようなスペクトル分布をした光波が、MZ光導波路から出射される）。

そして、図1並びに式(1)で示した変調方式（SSB光変調）と図3並びに式(2)で示した変調方式（サブMZでのキャリア抑圧手法）とを組み合わせることにより、1次スペクトル（ $J_1$ 項）、-1次スペクトル（ $J_{-1}$ 項）のいずれかのみを選択的に発生させることが可能となる。

このように、図1及び図2に示すような、各種のSSB光変調器に印加する変調信号及び直流バイアス信号などを適宜調整することにより、任意の周波数成分を有するスペクトル光を出力することが可能となる。

本発明の目的は、上述した問題を解決し、光計測分野や光ファイバ無線通信分野で利用されるヘテロダイン型の光信号を、簡単な構造で、しかも安定に発生させることを可能とするキャリア残留型信号の生成方法及びその装置を提供することである。

## 発明の開示

上記課題を解決するために、請求の範囲第1項に係る発明は、特定波長を有する光波をSSB光変調器を含む光変調部へ入射し、該光変調部から出射する光波が、0次のベッセル関数に係るキャリア成分と特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分とを含み、該特定の高次のベッセル関数以外の信号成分を抑圧する

と共に、該キャリア成分と該特定信号成分の光強度の比率が略 1 に設定されていることを特徴とするキャリア残留型信号の生成方法である。

本発明における「略 1」の意味は、キャリア成分と特定信号成分との光強度比が 1 である場合には、特定の伝送システム（例えば、自己ヘテロダイン型伝送システム）において、最も効果的なヘテロダイン効果が期待されるが、実際の光計測並びに光ファイバ無線通信において本発明を利用する場合に、実用上問題が無い範囲において、キャリア成分と特定信号成分との光強度比が、1 から外れる場合を含むという意味である。具体的には、キャリア成分と特定信号との比が、 $-10 \sim +12$  dB の範囲である場合には、実用的にも利用可能である。

また、請求の範囲第 2 項に係る発明では、請求の範囲第 1 項に記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該 SSB 光変調器は、2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路をメイン・マッハツェンダー型光導波路の分岐導波路に入れ子型に組み込むものであることを特徴とする。

また、請求の範囲第 3 項に係る発明では、請求の範囲第 2 項に記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該 SSB 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路又はメイン・マッハツェンダー型光導波路における各光変調の位相又は強度を調整することを特徴とする。

また、請求の範囲第 4 項に係る発明では、請求の範囲第 1 項乃至第 3 項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該光変調部は、SSB 光変調器に入力される光波の一部又は該光波と同じ波長を有する別の光波を、該 SSB 光変調器が出力する光波と合波することを特徴とする。

また、請求の範囲第 5 項に係る発明は、特定波長を有する光波を発生する光源と SSB 光変調器を含む光変調部とを有し、該光源から出射する光波を該光変調部へ入射し、該光変調部より出射する光波が、0 次のベッセル関数に係るキャリ



ア成分と特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分とを含み、該特定の高次のベッセル関数以外の信号成分を抑圧すると共に、該キャリア成分と該特定信号成分の光強度の比率が略 1 に設定されていることを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置である。

また、請求の範囲第 6 項に係る発明では、請求の範囲第 5 項に記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該 S S B 光変調器は、2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路をメイン・マッハツェンダー型光導波路の分岐導波路に入れ子型に組み込むものであることを特徴とする。

また、請求の範囲第 7 項に係る発明では、請求の範囲第 6 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路又はメイン・マッハツェンダー型光導波路上に膜体を形成又は該膜体の一部を除去することを特徴とする。

また、請求の範囲第 8 項に係る発明では、請求の範囲第 6 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路又はメイン・マッハツェンダー型光導波路は、各マッハツェンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路と該分岐導波路に変調電界又は直流バイアス電界を印加する電極との配置が、該 2 つの分岐導波路に対して非対称構造を有する部分を備えることを特徴とする。

また、請求の範囲第 9 項に係る発明では、請求の範囲第 6 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツェンダー型光導波路又はメイン・マッハツェンダー型光導波路は、各マッハツェンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路に変調電界又は直流バイアス電界を印加する電極と該分岐導波路に印加する電界を調整するための調整用電極とを有することを特徴とする。

また、請求の範囲第 10 項に係る発明では、請求の範囲第 5 項乃至第 9 項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該光変調部は、SSB 光変調器と該 SSB 光変調器の入力部と出力部とを結ぶバイパス用光導波路を有することを特徴とする。

また、請求の範囲第 11 項に係る発明では、請求の範囲第 10 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 SSB 光変調器と該バイパス用光導波路とは、同一基板上に形成されていることを特徴とする。

また、請求の範囲第 12 項に係る発明では、請求の範囲第 10 項又は第 11 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該バイパス用光導波路の途中に、該バイパス用光導波路中を伝搬する光波の強度を調整するための光強度調整手段を配置することを特徴とする。

また、請求の範囲第 13 項に係る発明では、請求の範囲第 5 項乃至第 9 項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該光変調部は、SSB 光変調器に入力される光波と同じ波長を有する別の光源の光波を、該 SSB 光変調器の出力部において合波する構成を有することを特徴とする。

請求の範囲第 1 項に係る発明により、SSB 光変調器を利用して 0 次のキャリア成分と高次の特定信号成分が簡単な構成でかつ容易に生成できる。しかも、SSB 光変調器は、該光変調器に印加される信号周波数に対応した特定信号成分を出力するため、キャリア成分と特定信号成分との周波数の差が常に一定であり、安定した 2 つの異なる周波数を有する光波を出力することが可能となる。

さらに、キャリア成分と特定信号成分との強度比を略 1 とすることにより、自己ヘテロダイン型伝送システムにおいて、ヘテロダイン効果が最も顕著となり、このシステムを用いた光計測応用や光ファイバ無線通信において特に有用に活用することが可能となる。

請求の範囲第2項に係る発明により、SSB光変調器として、2つのサブ・マッハツエンダー型光導波路をメイン・マッハツエンダー型光導波路の分岐導波路に入れ子型を採用しているため、特定信号成分として高次のベッセル関数に係る信号成分から任意の信号成分を選択することや、特定信号成分以外の高次の信号成分の抑圧、さらには、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略1に保持するなど、多様な制御が可能となる。

特に、請求の範囲第3項に係る発明のように、SSB光変調器を構成する2つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路における各光変調の位相又は強度を調整することで、容易に上記の複雑な制御を実現することが可能となる。

請求の範囲第4項に係る発明により、SSB光変調器に入力される光波の一部又は該光波と同じ波長を有する別の光波を、該SSB光変調器が出力する光波と合波することで、SSB光変調器において低下する傾向にあるキャリア成分を補償するため、自己ヘテロダイン型伝送システムにおいてヘテロダイン効果が最も高い、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略1に維持することが可能となる。

請求の範囲第5項に係る発明により、上記請求の範囲第1項に係る発明と同様に、SSB光変調器を利用して0次のキャリア成分と高次の特定信号成分が簡単な構成でかつ容易に生成できる。しかも、SSB光変調器により、キャリア成分と特定信号成分との周波数の差を常に一定に保持でき、安定した2つの異なる周波数を有する光波を出力することが可能となる。

さらに、キャリア成分と特定信号成分との強度比を略1とすることにより、自己ヘテロダイン型伝送システムにおいて、ヘテロダイン効果が最も顕著となり、このシステムを用いた光計測や光ファイバ無線通信において特に有用に活用する

ことが可能となる。

また、請求の範囲第 6 項に係る発明により、上記請求の範囲第 2 項に係る発明と同様に、特定信号成分として高次のベッセル関数に係る信号成分から任意の信号成分を選択することや、特定信号成分以外の高次の信号成分の抑圧、さらには、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略 1 に保持するなど、多様な制御が可能となる。

請求の範囲第 7 項に係る発明により、SSB 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路上にバッファ層 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  等) などの膜体を形成又はその一部を除去することで、各光導波路内を伝播する光波の位相を調整することが可能となるため、特定信号成分として高次のベッセル関数に係る信号成分から任意の信号成分を選択することや、特定信号成分以外の高次の信号成分の抑圧、さらには、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略 1 に保持するなど、多様な制御を容易に実現することが可能となる。

請求の範囲第 8 項に係る発明により、SSB 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路は、各マッハツエンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路と該分岐導波路に変調電界又は直流バイアス電界を印加する電極との配置が、該 2 つの分岐導波路に対して非対称構造を有する部分を備えることで、各光導波路内を伝播する光波の位相状態を非対称に調整することが可能となるため、上記のような多様な制御を容易に実現することが可能となる。

請求の範囲第 9 項に係る発明により、SSB 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路などの各マッハツエンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路に変調電界又は直流バイアス

電界を印加する電極に加え、該分岐導波路に印加する電界を調整するための調整用電極を形成しているため、該調整用電極により該分岐導波路内を伝播する光波の位相を調整することが可能となる。しかも、各マッハツェンダー型光導波路に設けられた変調信号又は直流バイアス信号が相互に連動している場合においても、調整用電極により、個別に位相調整することが可能となる。

請求の範囲第 10 項に係る発明により、光変調部が SSB 光変調器と該 SSB 光変調器の入力部と出力部とを結ぶバイパス用光導波路を有しているため、上記請求の範囲第 4 項に係る発明と同様に、SSB 光変調器において低下する傾向にあるキャリア成分を補償し、自己ヘテロダイン型伝送システムにおいてヘテロダイン効果が最も高い、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略 1 に維持することが可能となる。

請求の範囲第 11 項に係る発明により、上記請求の範囲第 10 項に係る発明の効果に加え、SSB 光変調器とバイパス用光導波路とが同一基板上に形成されているため、装置を構成する部品を削減できると共に、製造コストの削減、装置のコンパクト化などを達成することが可能となる。

請求の範囲第 12 項に係る発明により、バイパス用光導波路を伝搬する光波の光強度を調整することにより、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を、略 1 などの最適な値に制御することが可能となる。

請求の範囲第 13 項に係る発明により、光変調部が、SSB 光変調器に入力される光波と同じ波長を有する別の光源の光波を、該 SSB 光変調器の出力部において合波する構成を有しているため、上記請求の範囲第 4 項に係る発明と同様に、SSB 光変調器において低下する傾向にあるキャリア成分を補償し、自己ヘテロダイン型伝送システムにおいてヘテロダイン効果が最も高い、キャリア成分と特定信号成分との光強度の比率を略 1 に維持することが可能となる。

### 図面の簡単な説明

第 1 図は、単独 M Z 光導波路における S S B 光変調の概略を示す図である。

第 2 図は、2 つのサブ M Z 光導波路と一つのメイン M Z 光導波路とを有する S S B 変調器の概略を示す図である。

第 3 図は、S S B 変調器のサブ M Z 光導波路の役割を示す図である。

第 4 図は、本発明に係るキャリア残留型信号の生成装置を利用した光ファイバ無線通信システムの概略図である。

第 5 図は、本発明に係る第 1 の実施例を示す図である。

第 6 図は、本発明に係る第 1 の実施例における光スペクトル分布状態を示すグラフである。

第 7 図は、本発明に係る第 1 の実施例における  $P_1$  と  $P_s$  との比及び光位相変調指数  $m$  に関するキャリア成分及び信号成分の出力変化を示すグラフである。

第 8 図は、キャリア成分と特定信号成分との光強度比を自動調整するための構成を示す図である。

第 9 図は、本発明に係る第 2 の実施例を示す図である。

第 10 図は、変調電極と光導波路との配置関係を、対称 (a) 又は非対称 (b) とした場合の概略を示す図である。

第 11 図は、調整用電極を利用する場合の光導波路の近傍における配置状態を示す図である。

第 12 図は、本発明に係るキャリア残留型信号の生成装置を利用した光ファイバ無線通信システムの実験評価方法の概略を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を好適例を用いて詳細に説明する。

図4は、本発明に係るキャリア残留型信号の生成方法及びその装置が適用される光ファイバ無線通信システムの概略を示す図である。

本発明は、図1のような光ファイバ無線通信システムに限らず、光ヘテロダイン干渉計など光計測分野においても適用可能である。

図4の光ファイバ無線システムの下り系システムにおいて、基地局1は、所望のミリ波周波数が得られる光周波数差  $f_{RF}$  で動作させた2つの光源2、3と、I F (Intermediary Frequency) 帯アナログ変調信号発生器5、およびSSB光変調器を含む光変調部4から構成される。

光変調部については後に詳述する。光変調部4では、光源2からの光波（周波数  $f_1$ ）が入射され、I F 帯アナログ変調信号発生器5により印加される周波数 I F のマイクロ波による光変調を行う。その結果として、キャリア成分（周波数  $f_1$ ）と信号成分（周波数  $f_1 + I F$ ）とを含む光波を出射する。この状態を示すのがa点における光スペクトラムである。なお、キャリア成分と信号成分との光強度の比は、略1となるように設定されている。

変調周波数は、電気/光変換と信号生成の容易な I F 帯とする。もし、ミリ波信号で変調（電気/光変換）を施すシステム構成を採用すると、共振型電極構造や逆スロット型電極構造をもつミリ波帯の高効率変調器が必要となる上、この場合には特定の高次のベッセル関数に関する特定信号成分以外の信号成分を抑圧することが難しいため、ファイバ伝送中に分散ペナルティの影響を強く受けるなどの課題が生じる。

また、例えば、I F 帯を変調周波数に用いても送信局側から局発光を併せて送信せずにファイバ伝送させるシステム構成では、発振器を搭載した複雑かつ高価なりモートアンテナ局が必要になるといった課題がある。

図 4 に示す光ファイバ無線通信システムでは、リモートアンテナ局に発振器を搭載せず、かつ、変調光は数 km に渡り分散ペナルティの影響を受けずに低損失にファイバ伝送できるといった特徴をもっている。

つまり、光源 1 の周波数  $f_1$  よりミリ波周波数に相当する光周波数差  $f_{RF}$  だけ低い周波数  $f_2$  ( $f_1 - f_{RF}$ ) の光波が光源 3 より出射され光ファイバ 7 を伝播する。光変調部 4 から出射された光波は、光ファイバ 6 を伝播し、光結合部 8 で周波数  $f_2$  の光波と合波される。合波された光波は、3 つのスペクトルを有する光波であり、光ファイバ 9 により長距離の伝送が可能である。光ファイバ 9 を伝播する光波の光スペクトラムは、b 点に示す分布を構成する。

リモートアンテナ局 10 は光/電気変換部 11 と増幅器 12 のみの簡単な構成となる。従来のシステムでは、無線信号における周波数利用効率の向上を図るため、不要な高次の信号成分を除去するよう設計された RF フィルタ (BPF) をリモートアンテナ局内に実装しなければならなかった。

しかしながら、図 4 に示す光ファイバ無線通信システムでは基地局 1 側に、十分に不要な高次の信号成分を抑圧した信号が生成可能であるため、リモートアンテナ局 10 を RF フィルタの無い低コスト、かつ簡潔な構成にすることが可能となる。

また、このようなりモートアンテナ局 10 であれば、送信局側でキャリア周波数を変更しても即時対応できるため、より自由度の高いリモートアンテナシステムを実現できる。

光/電気変換部 11 で自乗検波された信号は、増幅器 12 により増幅され、送信アンテナ 13 からキャリア周波数  $f_{RF}$  で変調周波数  $IF$  を有するイメージ抑圧型信号として無線伝送される (図 4 の c 点の無線信号スペクトラムを参照)。

受信端末 15 は発振器を含まない低コストな構成となる。受信アンテナ 14 か



ら受信された電気信号は、自乗検波回路 16 を構成する増幅器、バンドパスフィルタ、及び自乗検波器を介し、自乗検波された再生信号を生成する。原理上、基地局側の位相雑音成分や周波数オフセット成分を全く含まず検出することが可能である。すなわち、光源 2, 3 が出射する光波の揺らぎに起因する、光ビート周波数の揺らぎに全く影響を受けない高安定な I F 信号成分を再生できる。

検波された I F 信号は、増幅器 17 及び I F 復調回路 18 により、信号データとして出力される。

### 実施例 1

以下に、光変調部 4 におけるキャリア残留型信号の生成方法について、実施例を基に説明する。

図 5 は、2つのサブMZと1つのメインMZを有するSSB光変調器を用いた光変調部の例であり、特に、SSB光変調器に入射する光波と同じ周波数を有する光波を、SSB光変調器の出口側において合波させる構造を有している。

図 5 (a) では、レーザ光源 51 から出射された特定波長の光波は、光ファイバ 52 を伝播し、光カプラ又はY字状光導波路などによる光分岐部 53 により、光波を2つに分け、一方をSSB光変調器 54 に他方をバイパス用光導波路 56 に導く。そして、SSB光変調器 54 から出射する光波と、バイパス用光導波路 56 を伝播する光波は、光カプラ又はY字状光導波路などによる光合波部 57 により合波され、光ファイバ 58 を伝播して外部に出射される。

SSB光変調器 54 には、2つのサブMZ光導波路 60, 61 と、1つのメインMZ光導波路 62 が入れ子型に形成されており、図 2 と同様に、サブMZ光導波路上に配置したRF電極(2ポート)、及び各サブMZ光導波路とメインMZ光導波路の位相変化量を調整するための直流バイアス電極(3ポート)が形成され

ている。

R F 電極に変調信号を加えると、サブM Z の各分岐導波路中の位相変調光は、第1種ベッセル関数  $J_n(m)$  ( $n = 1, 2, \dots$ ,  $m$ は光位相変調指数) に従うため変調周波数の  $n$  倍成分に光パワーが分配される。

もしR F ポートに  $(1+H) \cdot \phi(t)$  ( $H$ はヒルベルト係数、 $\phi(t)$ は変調信号。「 $(1+H) \cdot \phi(t)$ 」は、R F ポートの一方に  $\phi(t)$  の信号を印加し、他方のR F ポートに  $H[\phi(t)]$  を印加することを意味する。) を満足する信号を加えると、S S B 光変調器の出力  $E_{out}$  の特性は、

$$E_{out} = E_{in} / 2 * \exp(j \omega_0 t) * \{ \exp(j m \cos \Omega t) + \exp(j d_1) * \exp(-j m \cos \Omega t) + \exp(j d_2) * \exp(j m \sin \Omega t) + \exp(j d_3) * \exp(-j m \sin \Omega t) \} \dots (3)$$

と表せる。ここで、 $E_{in}$ はS S B 光変調器 5 4 への入力光の振幅、 $\omega_0$ は入力光の角周波数、 $\Omega$ は変調信号の角周波数、 $m$ は光位相変調指数、 $d_1 \sim d_3$ はそれぞれ印加電圧量に応じて与えられる各光導波路の位相変化量である。

なお、光位相変調指数  $m$  は、次式で定義される。

$$m = \pi * (V / V_\pi) \dots (4)$$

ここで、 $V$ は変調信号R F の振幅値であり、 $V_\pi$ はサブM Z の各分岐導波路に関し、位相変調器としての半波長電圧である（ここでは、各分岐導波路は全て同じ  $V_\pi$  と仮定している）。

$m$  と同時に  $d_1 \sim d_3$  を調整すると、合波後、各光導波路で生成される  $J_n(\phi)$  の特定成分が同位相の時には強め合い、逆位相の時にはキャンセルし合うなどし、最終的に特定成分の抽出や抑圧が可能となる。

本発明に係るキャリア残留型信号の生成方法及びその装置では、S S B 光変調器を含む光変調部において、これらの光位相変調指数と位相変化量等を調整し、

キャリア成分及び特定の信号成分のみを抽出すると共に、両者の光強度比が略 1 となるように設定することにより、自己ヘテロダイン伝送方式の条件を満足するキャリア残留型信号を生成している。

図 5 (a) の S S B 光変調器 5 4 において、 $\omega_0 = 60 \text{ GHz}$ 、 $\Omega = 1 \text{ GHz}$  とし、上述した図 2 の S S B - S C 光変調器のように、1 次のベッセル関数に係る信号成分 ( $J_1$ ) のみを抽出し、キャリア成分 ( $J_0$ ) 及び他の高次成分を抑圧するように制御すると、S S B 光変調器 5 4 からの出射光は、図 6 (a) に示すように、 $60 \text{ GHz}$  から  $1 \text{ GHz}$  だけ周波数がシフトするスペクトルが得られる。

これに、図 5 (a) に示すように、バイパス用光導波路 5 6 を伝播するキャリア成分のみを有する光波を合波すると、光ファイバ 5 8 を伝播する光波の光スペクトルは、図 6 (b) のように形成される。

キャリア成分の強度と特定信号成分 ( $J_1$ ) との光強度の比は、分岐導波路 5 3 の光波の分岐比や、バイパス用光導波路 5 6 における光波の光強度を調整することにより行うことが可能である。

なお、バイパス用光導波路 5 6 中にアッテネータを設置し、バイパス用光導波路 5 6 中を伝播する光波の光強度を調整可能にすることも可能である。

また、S S B 光変調器 5 4 の代わりに、図 1 のような単独 M Z 光変調器を利用して、キャリア成分及び 1 次のベッセル関数に係る信号成分のみを出力するように調整し、S S B 光変調器から出射するキャリア成分と、バイパス用光導波路 5 6 を伝播する光波 (キャリア成分と同じ周波数) とを、両者の位相及び光強度を調整することにより、図 6 (b) に示すようなキャリア残留型信号を生成することも可能である。

図 5 (a) においては、S S B 光変調器 5 4 の外部に、光ファイバなどによるバイパス用光導波路 5 6 を設けたが、図 5 (b) に示すように、S S B 光変調器

を形成するサブMZ光導波路74、75及びメインMZ光導波路76と併せて、バイパス用光導波路72を同一基板上に組み込み、光変調部70を構成することも可能である。

この場合には、光分岐部71、及び光合波部73も同様に、同一基板上に形成することが可能である。

光変調部70からの出力光のスペクトル分布を調整する際には、図5(a)と同様に、SSB光変調部に印加される光位相変調指数や位相変化量を調整する方法、また、光分岐部71の光波の分岐比やバイパス用光導波路72における光波の光強度を調整する方法などがある。

さらに、図5(c)に示すように、SSB光変調器54から出射する光波に、キャリア成分に相当する光波を重ね合わせる方法として、レーザ光源51と同じ波長を有する他のレーザ光源80を設ける方法もある。

レーザ光源80より出射した光波は、光導波路81を伝播し、光合波部82において、SSB光変調器から出射する光波と合波される。そして合波後の光波は、光ファイバ58を伝播し外部に出射される。

光ファイバ58を伝播する光波のスペクトル分布を調整するには、レーザ光源51、80のパワー比を調整する方法や、SSB光変調器に印加される光位相変調指数や位相変化量を調整する方法、また、光導波路81を伝播する光波の強度を調整する方法、さらには、光合波部82における光波の結合比を調整する方法などがある。

図7は、図5(a)におけるSSB光変調器への入射光の光強度 $P_s$ とバイパス用光導波路を伝播する光波の光強度 $P_1$ 、及び光位相変調指数 $m$ に係るキャリア成分( $J_0$ )、特定信号成分( $J_1$ )、その他の高次の信号成分( $J_3$ )との光強度の関係を示すグラフである。

図7 (a) においては、 $m = 0.2$  に一定状態に保持した場合、 $P_1 / P_s \approx 0.4$  において、キャリア成分 ( $J_0$ ) と特定信号成分 ( $J_1$ ) との光強度が略1の状態となることが理解される。これにより、SSB光変調器にバイパス用光導波路を組合わせた光変調部は、キャリア残留型信号の生成方法としては、有効な手段であり、しかも、 $P_1$  と  $P_s$  の比率を調整することにより、容易に  $J_0$  と  $J_1$  との強度比が調整可能であることが理解される。

また、図7 (b) は、光位相変調指数  $m$  を変化させた場合の各成分の強度変化をしめすものである。特に、 $m = 0.2$  の場合、 $P_1 / P_s \approx 0.4$  で  $J_0$  と  $J_1$  との強度比が略1となる場合において、 $P_1 / P_s \approx 2m$  となる関係で、 $m$  を変化させた場合、図7 (b) のように、 $J_0$  と  $J_1$  との強度比が略1の関係を維持しながら変化していることが理解される。このことから、 $J_0$  と  $J_1$  との強度が略1となる関係を満足する  $P_1 / P_s$  の値及び  $m$  の値を決定し、 $P_1 / P_s = k \times m$  ( $k$  は、比例定数) を満足するように  $m$  並びに  $P_1$  と  $P_s$  とを変化させることにより、光位相変調指数  $m$  が変化した場合でも、常にキャリア成分 ( $J_0$ ) と特定信号成分 ( $J_1$ ) との光強度が略1の状態に保持することが可能となる。

図8 は、図5 (a) 又は (b) のようにバイパス用光導波路を用いた場合における、キャリア成分と特定信号成分との光強度比を自動調整する方法を示した図である。

図5 (a) と同様に、レーザ光源 51 から出射された特定波長の光波は、光ファイバを伝播し、光カプラ又はY字状光導波路などによる光分岐部 53 により、光波を2つに分け、一方をSSB光変調器 54 に他方をバイパス用光導波路 56 に導く。SSB光変調器 54 には、変調回路 83 により所定の変調信号が入力される。

バイパス用光導波路 56 の途中には、VOA (Variable Optical Attenuator)

などの光波の透過量を可変調整可能な光強度調整手段 8 4 を配置する。

そして、SSB光変調器 5 4 から出射する光波と、バイパス用光導波路 5 6 を伝播する光波は、光カプラ又はY字状光導波路などによる光合波部 5 7 により合波され、光ファイバ 5 8 を伝播して外部に出射される。

仮に、SSB光変調器 5 4 からは特定信号成分の光波のみ出力され、キャリア成分の光波はバイパス用光導波路から供給される場合には、図 8 のように、光カプラ 8 5、8 7、及び光検出器 8 6、8 8 を利用して、光強度調整手段を制御する。

つまり、バイパス用光導波路を伝搬する光波の一部を、光カプラ 8 5 を介して光検出器 8 6 に導出し、他方、SSB光変調器 5 4 が出力する光波の一部を、光カプラ 8 7 を介して光検出器 8 8 に導出する。光検出器 8 6 の出力はキャリア成分の光強度に対応し、光検出器 8 8 の出力は特定信号成分の光強度に対応することから、両者の出力信号を比較器 8 9 に導入し、比較器 8 9 の出力に応じて、光強度調整手段 8 4 の透過量を調整する。

このような構成により、キャリア成分と特定信号成分との光強度比を自動調整することが可能となる。

また、SSB光変調器 5 4 がキャリア成分及び特定信号成分を含む光波を出力している場合には、光カプラ 8 5 の設置位置を、光ファイバ 5 8 上で光合波部 5 7 より下流側に設ける。そして、光検出器 8 6 にはキャリア成分の光波のみ検出可能な光検出器を、光検出器 8 8 には特定信号成分の光波のみ検出可能な光検出器を配置することにより、キャリア成分と特定信号成分の光強度を各々検出することが可能となる。

各光検出器の出力信号は、上記と同様に、比較器 8 9 に導入され、その比較結果に基づき光強度調整手段が制御される。

## 実施例 2

次に、本発明のキャリア残留型信号の生成方法及びその装置に関する第 2 の実施例について説明する。

図 9 は、2 つのサブ M Z 光導波路 9 4、9 5 と 1 つのメイン M Z 光導波路 9 6 とを有する S S B 光変調器 9 2 を用いた光変調部の例であり、特に、S S B 光変調器内の光導波路上にバッファ層（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  等）などの膜体 9 7 を成膜あるいは、その一部をトリミングすることで、キャリア成分と特定信号成分との抽出及び、両者の光強度比を調整するものである。

このような光変調部は、S S B 光変調器の直流バイアス等を最適に調整することが困難な場合でも、S S B 光変調器の特性をモニタしながら、光導波路上に形成された成膜部分のトリミングを適宜行い、最適な設定値を実現することができる。

図 9（b）及び（c）は、サブ M Z 光導波路に係る各位相状態を、以下のように設定した場合において、膜体 9 7 のトリミングにより、キャリア成分（ $J_0$ ）と特定信号成分（ $J_1$ ）との光強度が略 1 となるように調整した場合の結果を示す。

サブ M Z 光導波路 9 4 の第 1 のアーム（図 9（a）の 1st）を基準として、サブ M Z 光導波路 9 4 の第 2 のアーム（2nd）の位相差を  $\pi$ 、サブ M Z 光導波路 9 5 の第 3 のアーム（3rd）の位相差を  $1.1\pi$ 、そして、サブ M Z 光導波路 9 5 の第 4 のアーム（4th）の位相差を  $2.9\pi$  となるように、各光導波へ印加される直流バイアス電極の電圧を設定する。

光位相変調指数  $m = 0.15$  において、キャリア成分（ $J_0$ ）と特定信号成分（ $J_1$ ）との比が略 1 となるように、サブ M Z 光導波路 9 4、9 5 の膜体 9 7 を

トリミングし、その後、光位相変調指数 $m$ を変化させる。図9(c)は、 $m$ の変化に対するキャリア成分( $J_0$ )及び高次の信号成分の変化の様子を示したものである。

図9(b)及び(c)のグラフより、SSB光変調器からの出力光のスペクトル調整に際しても、SSB光変調器内の各光導波路上に膜体を成膜あるいはトリミングすることにより、キャリア成分及び特定信号成分の抽出及び光強度比の調整が可能となることが理解される。

### 実施例3

次に、本発明のキャリア残留型信号の生成方法及びその装置に関する他の実施例について説明する。

図10は、SSB光変調器内の光導波路114と変調電極である信号電極110及び接地電極111との配置関係を示す図であり、図10(a)のように、変調電極と光導波路との配置関係を対称に配置する場合と、図10(b)のように非対称とする場合では、光導波路に印加される電界強度が変化するため、光位相変調指数 $m$ や各光導波路を伝播する光波間の位相差を変化させることが可能となり、SSB光変調器から出射する光スペクトルを調整することが可能となる。

なお、112は電気光学効果を有する基板、113はバッファ層を示す。

また、図11のように、変調電極を構成する信号電極121及び接地電極122との間に、分岐導波路120に印加する電界を調整するための調整用電極123、124を形成することも可能である。この調整用電極により分岐導波路内を伝播する光波の位相を調整することが可能となる。

例えば、各マッハツェンダー型光導波路に設けられた変調信号又は直流バイアス信号が相互に連動し、個別に微調整することが困難な場合においても、調整用



電極により各光導波路について個別に位相を調整することが可能となる。

さらに、調整用電極 1 2 3, 1 2 4 の形状・配置については、各光導波路毎に異なる設定を行うことにより、各光導波路に適した制御を行うことが可能となる。

次に、本発明に係るキャリア残留型信号の生成方法及びその装置を光ファイバ無線通信システムに適用した場合の特性評価方法について説明する。

図 1 2 に、Q P S K (Quadrature PhaseShift Keying) 信号を用いた伝送試験の実験構成例を示す。

光変調部 2 3 には、上述した図 5 (a) の光変調器を用いた。

基地局 2 0 を構成する光源 2 1, 2 2 には  $1.5 \mu\text{m}$  帯の波長可変光源を 2 台使用した。光源 2 1 及び 2 2 は、光スペクトルアナライザで  $60 \text{ GHz}$  帯キャリアが得られるように、予め波長差 ( $0.48 \text{ nm}$  程度) を確認しながら、G P - I B (General Purpose Interface Bass) 制御により、それぞれ独立にモード・ロックする。モード・ロック後の波長安定度は  $5 \times 10^{-8}$ 、線幅は  $1 \text{ MHz}$  である。

エラーアナライザ 4 2 から出力される通信速度  $155.52 \text{ Mbps}$  の擬似ランダムパルスパターン (P R B S :  $2^7-1$ ) は、Q P S K 送信機 2 6 により Q P S K 変調 (中心周波数  $700 \text{ MHz}$ ) を施された後、増幅器 2 5 を介し  $90$  度ハイブリッド 2 4 へ入力される。ここで変調信号は原信号とヒルベルト変換された信号とに分岐され、光変調部 2 3 に組み込まれた S S B 光変調器の各 R F ポートへ入力される。

そして、2 つのサブ M Z 光導波路とメイン M Z 光導波路を有する S S B 光変調器において、3 箇所の直流バイアス電圧 2 7 を調整することにより、特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分を除く信号成分 (「信号成分」を「イメージ成分」とも言う) を抑圧した光信号が生成される。本実験では、特に、1 次のベッセル関数に係る信号成分を残すため、下側波帯成分と不要な高次成分を抑圧した

信号が得られるようにバイアス調整している。

光変調部 23 を出射する光波は、光ファイバ 28 を伝播すると共に、光源 22 から出射され光ファイバ 29 を伝播している光波と、3 dB カプラ 30 にて合波される。合波された光キャリア成分および信号成分はシングル・モード・ファイバ (SMF) 31 (ファイバ長: 2 m、5 km、10 km) 中を伝送される。

光/電気変換部には応答帯域 50 GHz<sub>z</sub> の単一走行キャリア・フォトダイオード (UTC-PD) 33 を用いた。また、この前段には入力パワーを調整するための可変光アッテネータ 32 を挿入した。

送信回路側と受信回路側とは導波管 35 で接続されており、フォトダイオード 33 の出力は増幅器 34 により増幅され、導波管 35 を伝播する。導波管 35 の途中には可変 RF アッテネータ 36 を挿入し、パワーメータ 38 でモニタしながら受信回路への入力 RF パワーを調整する。37 は、導波管 35 を伝播するミリ波の一部をパワーメータ 38 に分岐する分岐導波管である。

受信回路側では、自乗検波回路 39 は GaAs をベースに作製された小型な MMIC (Microwave Monolithic IC) モジュールであり、増幅器とバンドパスフィルタおよび自乗検波器を内蔵している。得られた再生信号は増幅器 40 を介し、QP SK 復調器 41 にて復調された後、エラーアナライザ 42 により同期検波され、送受信信号を比較し、ビット誤り率特性が取得される。なお、本実験ではエラー訂正処理は動作させなかった。

上記の特性評価方法により、本発明に係るキャリア残留型信号の生成装置を利用した光ファイバ無線通信システムの特性を調査すると以下の結果が得られた。

#### (1) RF 信号の生成と検波スペクトラム

生成スペクトルのキャリア周波数は、59.53 GHz<sub>z</sub>、IF 信号は中心周波数

700 MHzの無変調波とした。

光位相変調指数 $m$ が低い場合には、イメージ成分は十分に抑圧されているものの $J_1/J_0 \approx 1$ とはならないが、光位相変調指数を増大させ $m=0.6$ 付近に設定すると、イメージ抑圧比( $J_1/J_0$ と $J_2/J_0$ との差)が約30 dBを確保でき、かつ、 $J_1/J_0 \approx 1$ となるスペクトルが生成できた。

なお、光位相変調指数を0.6以上により高く設定すると、不要な下側波帯 $J_{-1}$ や高次成分 $J_2$ 、 $J_3$ が発生し、 $J_{+1}/J_0 \neq 1$ となる傾向にある。

光位相変調指数を約0.6に設定して利用する場合には、アンテナ局においてRFフィルタを用いなくとも、60 GHz帯技術基準であるスプリアス-10 dBm以下を達成できることが確認できた。

また、光ビート周波数による周波数オフセットのため生成ミリ波の周波数も不安定なものとなり、オフセット量は最大で20 MHz(品質: 334 ppm)となることが確認された。しかしながら、送信された無線信号を再生した際、再生信号の安定性は高く、自己ヘテロダイン伝送方式の利点である光ビート周波数の揺らぎの影響を受けにくい特性が確認できた。

このことから、本発明に係るキャリア残留型信号の生成装置を、光ミリ波ビート信号生成法に適用した場合でも、通信システムへ利用可能な安定な信号が再生できることを確認できた。ただし、生成ミリ波の周波数オフセット量は60 GHz帯無線の品質基準内(500 ppm以下)に収める必要があり、使用する各光源は発振波長に対する波長安定度 $8 \times 10^{-8}$ 以下のものを用いることが好ましい。

## (2) 信号伝送特性

SSB光変調器の光位相変調指数は、 $m=0.19\pi$ とし、UTC-PDへの

入力パワーは  $-2.6 \text{ dBm}$  に設定し、光ファイバ長は  $2 \text{ m}$ 、 $5 \text{ km}$ 、 $10 \text{ km}$  の 3 種類を測定した。

受信 RF パワーが  $-60 \text{ dBm}$  以下ではほぼファイバ長に依存しない CN (キャリア対ノイズ) 比特性が得られ、受信 RF パワーが  $-60 \text{ dBm}$  以上では、非線形な CN 比特性を示した。これは検波機の入力上限レベルが近いと想定される。

また、回線設計値として空中線送信電力  $10 \text{ mW}$ 、信号帯域  $100 \text{ MHz}$ 、アンテナ利得  $6 \text{ dBi}$  (送受)、空間距離  $5 \text{ m}$  を用いた場合、算出される受信 RF パワーは  $-60 \text{ dBm}$  となる。同実験結果から、この時に得られる CN 比は  $20 \text{ dB}$  であった。

受信 RF パワーに対する QPSK/155.52 Mbps 信号 (中心周波数  $700 \text{ MHz}$ ) の誤り率特性を評価した。実験系の設定 (光位相変調指数、PD 入力パワー、ファイバ長) は CN 比測定時と同条件とした。

実験の結果、ビット誤り率は受信 RF パワー  $-62 \text{ dBm} \sim -72 \text{ dBm}$  にわたりファイバ長にほとんど依存せず、 $-60 \text{ dBm}$  以下でエラーフリーになることが分かった。

前述と同様、回線設定値に空中線送信電力  $10 \text{ mW}$ 、アンテナ利得  $6 \text{ dBi}$  (送受) を用いると、ビット誤り率は空間距離  $5 \text{ m}$  でエラーフリー、 $12 \text{ m}$  で  $10^{-4}$  となる結果が得られた。

また、8PSK 信号 (中心周波数  $700 \text{ MHz}$ ) を  $10 \text{ km}$  にわたりファイバ伝送させた際に、得られる受信 I-Q コンスタレーションを調べたところ、 $10 \text{ km}$  ファイバ伝送させても元信号と比べ遜色のない良好なコンスタレーションが得られることが分かった。さらに、広帯域変調信号の伝送例として、BS 放送信号 (8PSK、マルチキャリア) の伝送を試みた。 $10 \text{ km}$  にわたりファイバ伝

送させ、リモートアンテナ局で無線送信した場合でも、B S 放送信号を端末で受信できることが確認された。

この結果により、広帯域なデジタル変調信号でも、本発明に係るキャリア残留型信号の生成装置を利用した光ファイバ無線通信システムにおいては、10 kmに渡り良好に伝送できることを確認した。

本発明は、以上説明したものに限られるものではなく、本発明の目的を逸脱しない範囲において、当該技術分野において公知の技術を付加したものも包含するものであることは、言うまでもない。

#### 産業上の利用可能性

以上、説明したように、本発明によれば、光計測分野や光ファイバ無線通信分野で利用されるヘテロダイン型の光信号を、簡単な構造で、しかも安定に発生させることを可能とするキャリア残留型信号の生成方法及びその装置を提供することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 特定波長を有する光波をSSB光変調器を含む光変調部へ入射し、該光変調部から出射する光波が、0次のベッセル関数に係るキャリア成分と特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分とを含み、該特定の高次のベッセル関数以外の信号成分を抑圧すると共に、該キャリア成分と該特定信号成分の光強度の比率が略1に設定されていることを特徴とするキャリア残留型信号の生成方法。

2. 請求項1に記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該SSB光変調器は、2つのサブ・マッハツエンダー型光導波路をメイン・マッハツエンダー型光導波路の分岐導波路に入れ子型に組み込むものであることを特徴とするキャリア残留型信号の生成方法。

3. 請求の範囲第2項記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該SSB光変調器を構成する2つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路における各光変調の位相又は強度を調整することを特徴とするキャリア残留型信号の生成方法。

4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該光変調部は、SSB光変調器に入力される光波の一部又は該光波と同じ波長を有する別の光波を、該SSB光変調器が出力する光波と合波することを特徴とするキャリア残留型信号の生成方法。

5. 特定波長を有する光波を発生する光源とSSB光変調器を含む光変調部とを有し、

該光源から出射する光波を該光変調部へ入射し、該光変調部より出射する光波が、0次のベッセル関数に係るキャリア成分と特定の高次のベッセル関数に係る特定信号成分とを含み、該特定の高次のベッセル関数以外の信号成分を抑圧する

と共に、該キャリア成分と該特定信号成分の光強度の比率が略 1 に設定されていることを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

6. 請求の範囲第 5 項記載のキャリア残留型信号の生成方法において、該 S S B 光変調器は、2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路をメイン・マッハツエンダー型光導波路の分岐導波路に入れ子型に組み込むものであることを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

7. 請求の範囲第 6 項記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路上に膜体を形成又は該膜体の一部を除去することを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

8. 請求の範囲第 6 項記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路は、各マッハツエンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路と該分岐導波路に変調電界又は直流バイアス電界を印加する電極との配置が、該 2 つの分岐導波路に対して非対称構造を有する部分を備えることを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

9. 請求の範囲第 6 項記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器を構成する 2 つのサブ・マッハツエンダー型光導波路又はメイン・マッハツエンダー型光導波路は、各マッハツエンダー型光導波路内の 2 つの分岐導波路に変調電界又は直流バイアス電界を印加する電極と該分岐導波路に印加する電界を調整するための調整用電極とを有することを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

10. 請求の範囲第 5 項乃至第 9 項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該光変調部は、S S B 光変調器と該 S S B 光変調器の入力部

と出力部とを結ぶバイパス用光導波路を有することを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

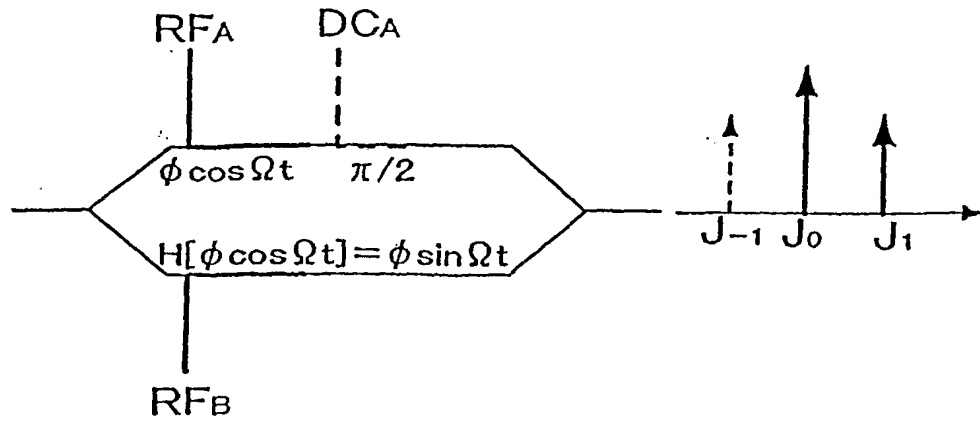
1 1. 請求の範囲第 1 0 項記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該 S S B 光変調器と該バイパス用光導波路とは、同一基板上に形成されていることを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

1 2. 請求の範囲第 1 0 項又は第 1 1 項に記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該バイパス用光導波路の途中に、該バイパス用光導波路中を伝搬する光波の強度を調整するための光強度調整手段を配置することを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。

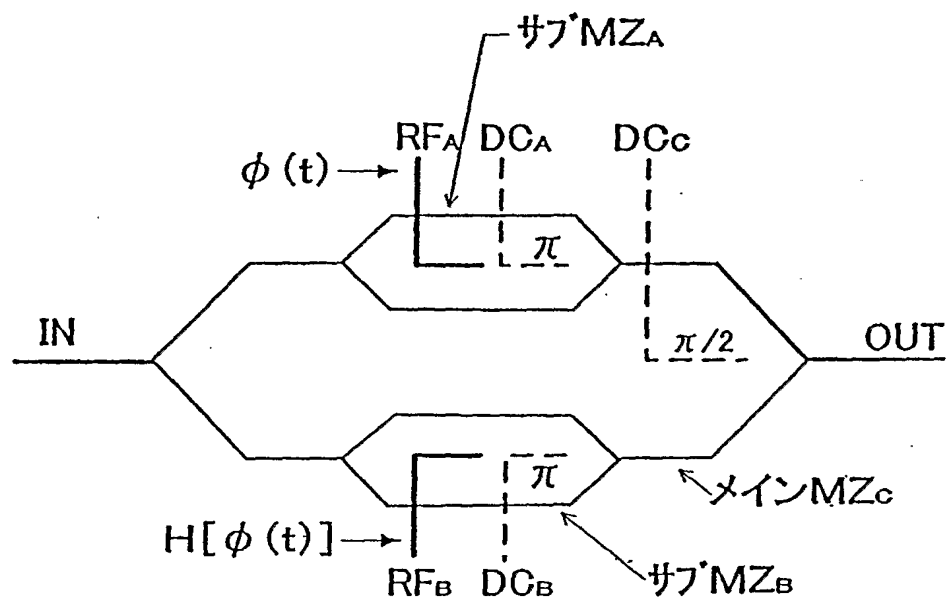
1 3. 請求の範囲第 5 項乃至第 9 項のいずれかに記載のキャリア残留型信号の生成装置において、該光変調部は、S S B 光変調器に入力される光波と同じ波長を有する別の光源の光波を、該 S S B 光変調器の出力部において合波する構成を有することを特徴とするキャリア残留型信号の生成装置。



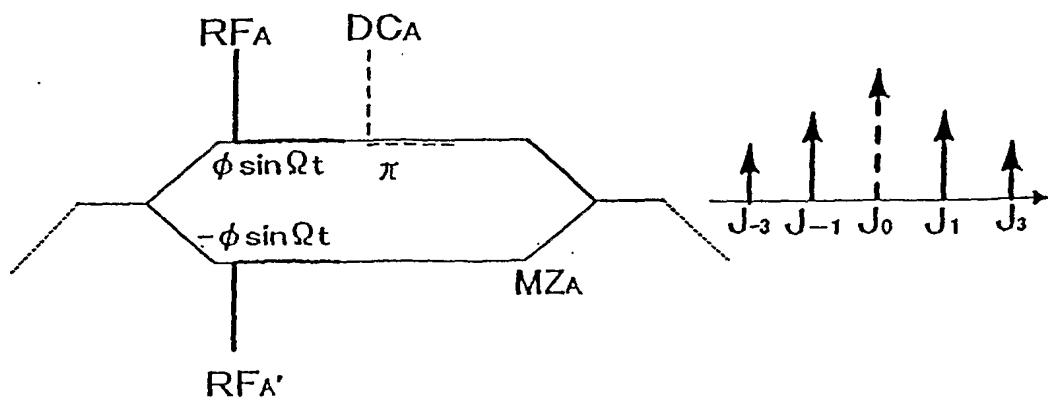
第1図



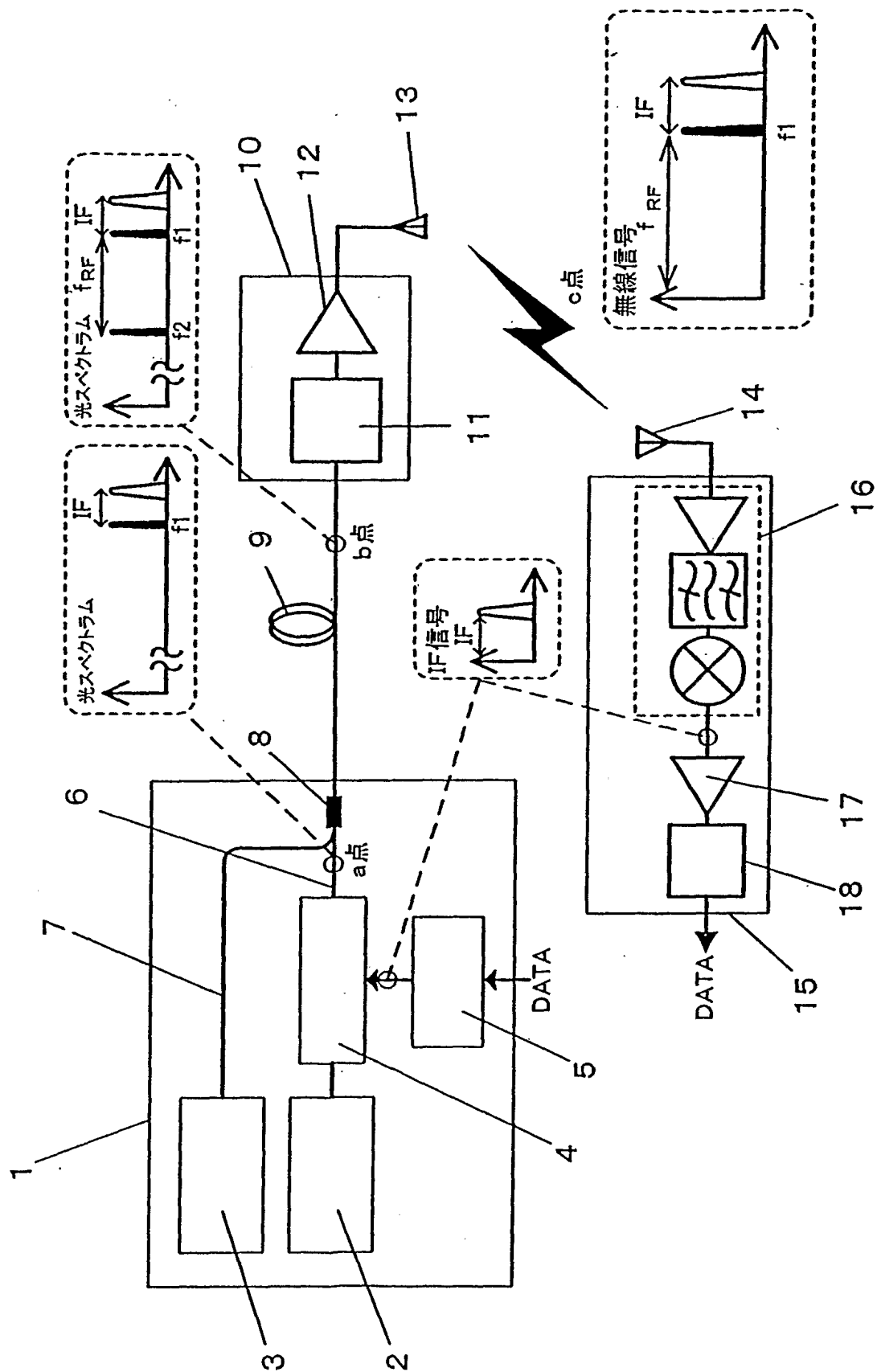
第2図



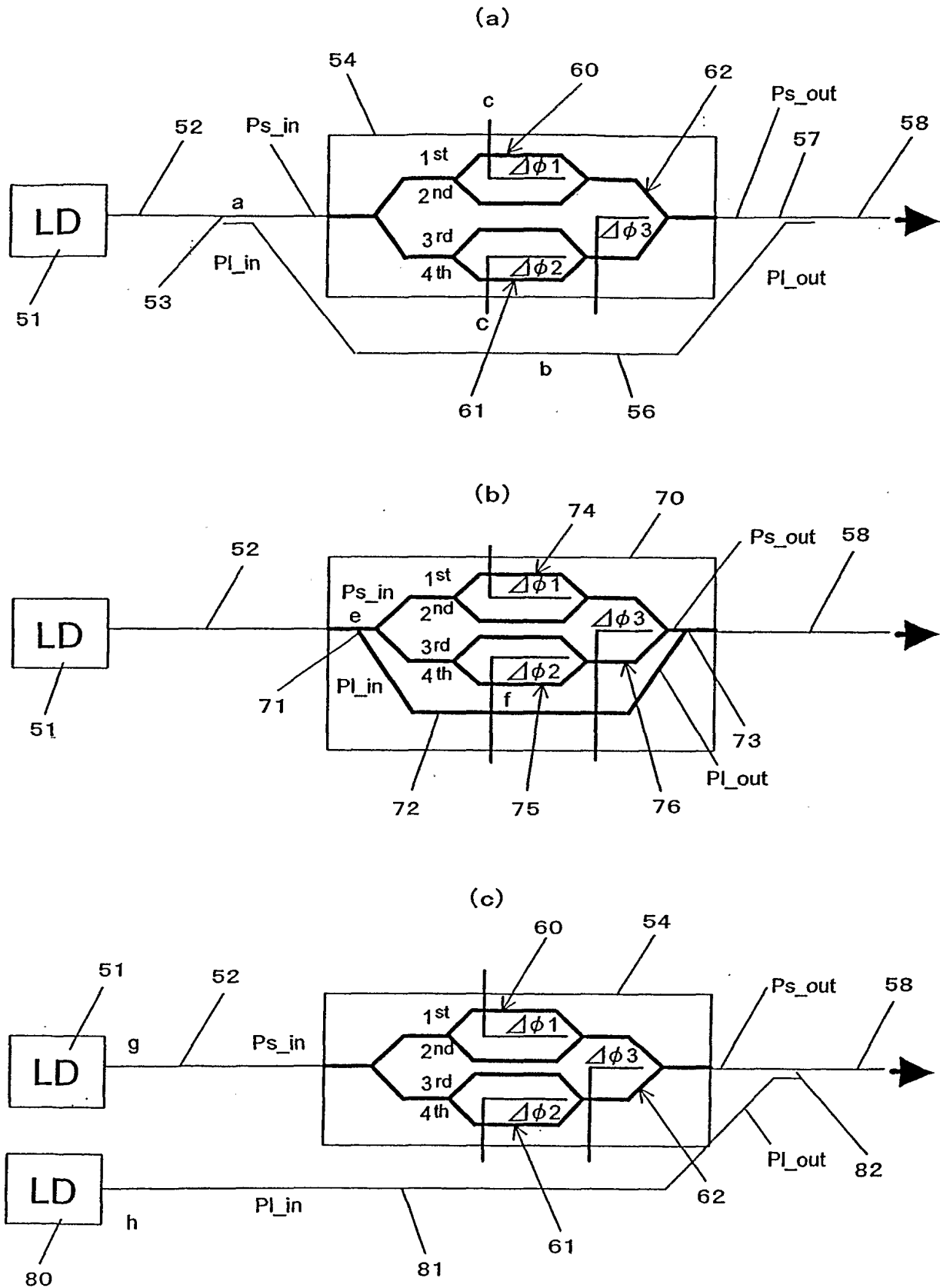
第3図



第4図

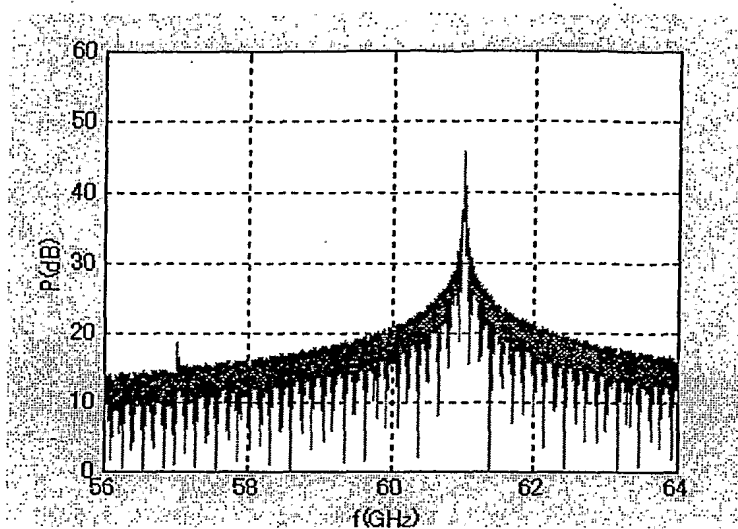


第5図

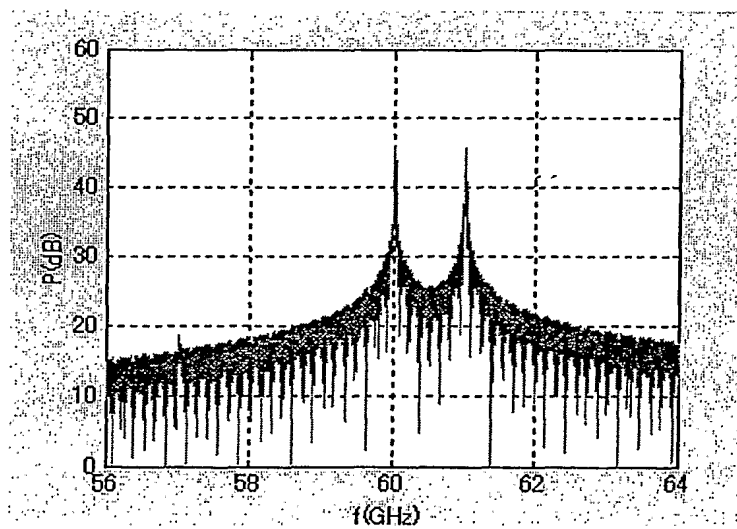


第6図

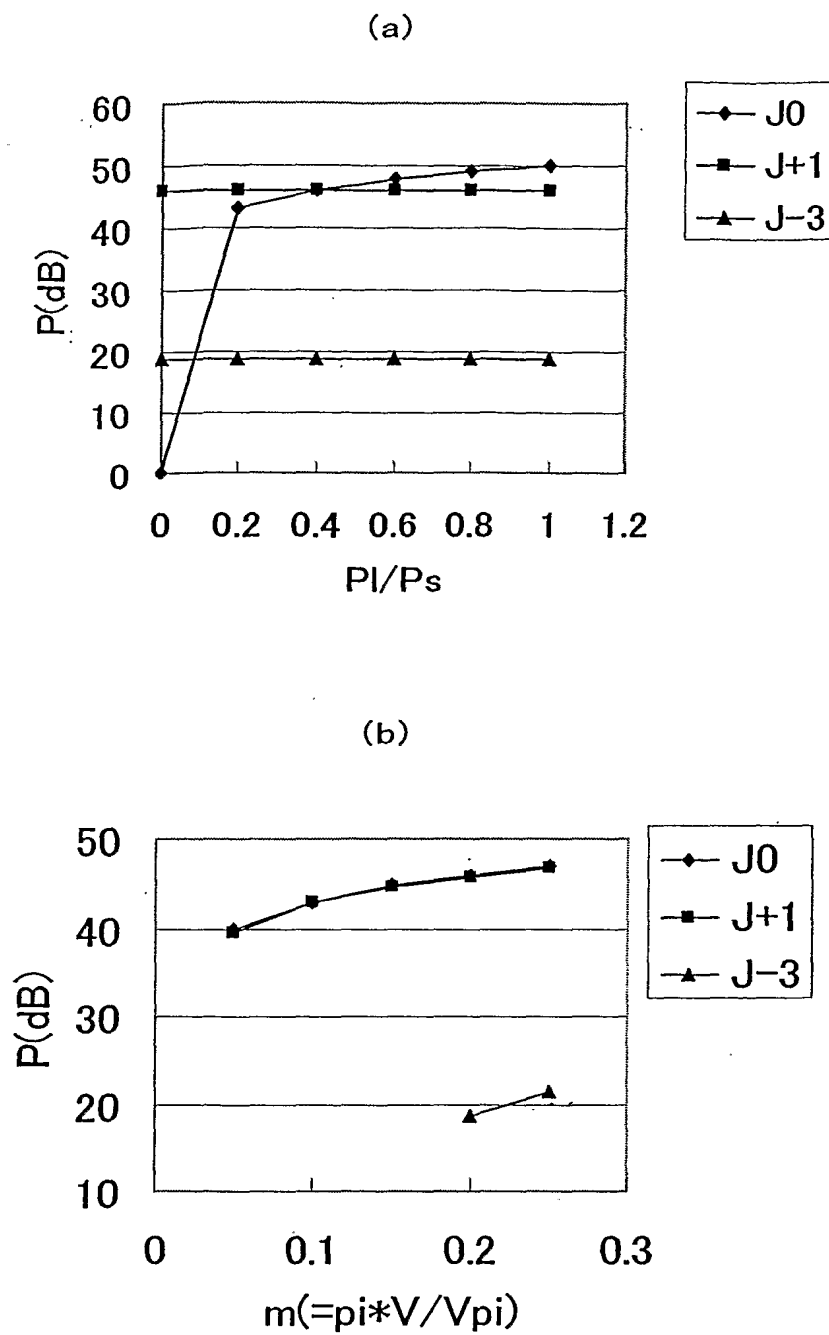
(a)



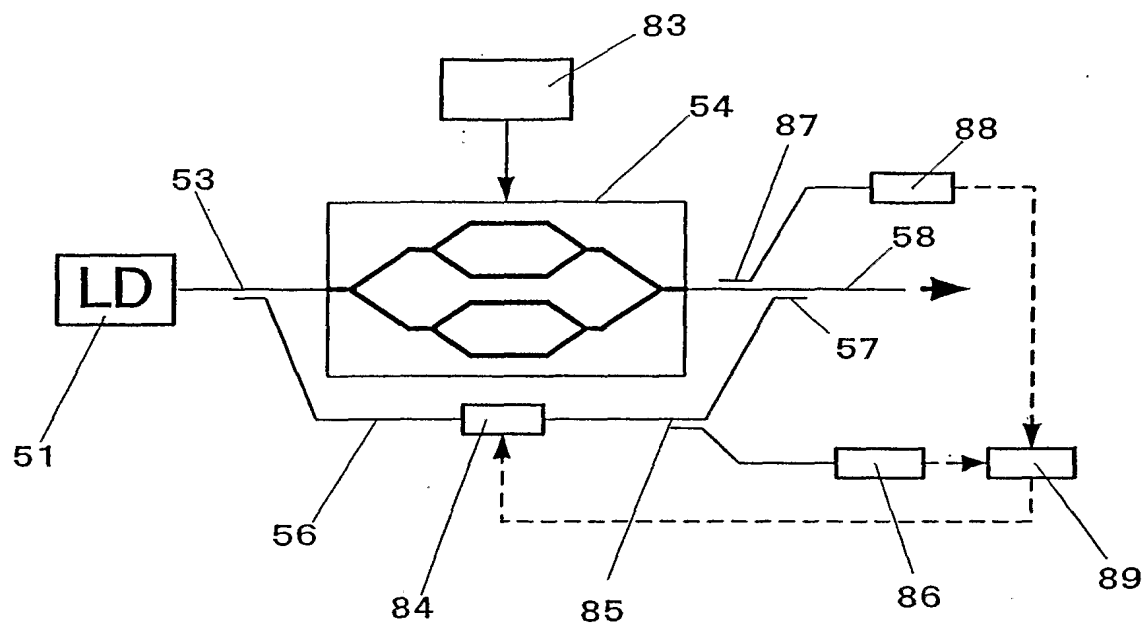
(b)



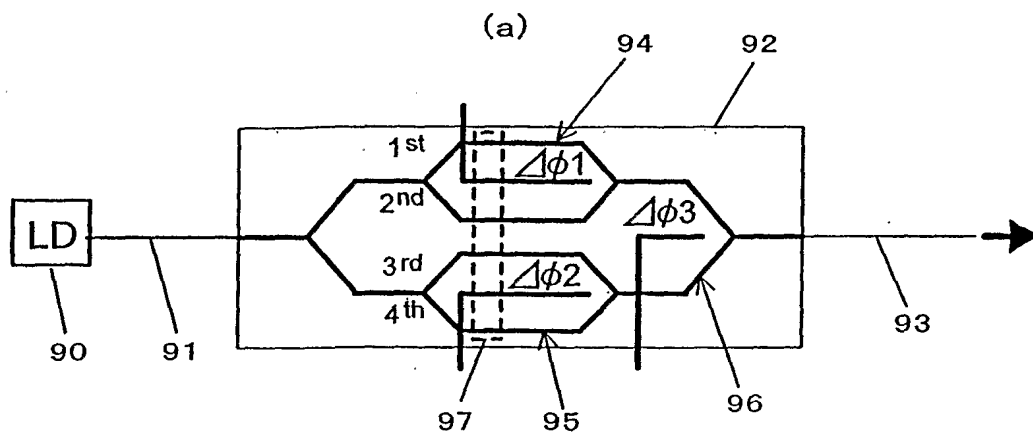
第7図



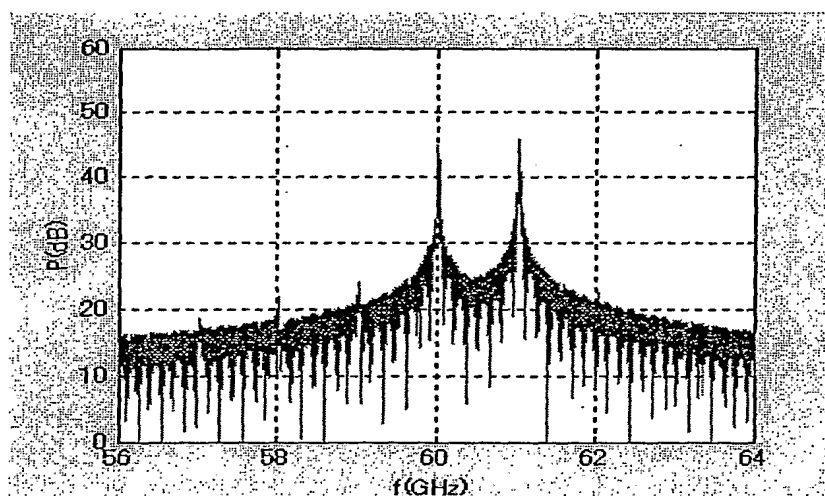
第 8 図



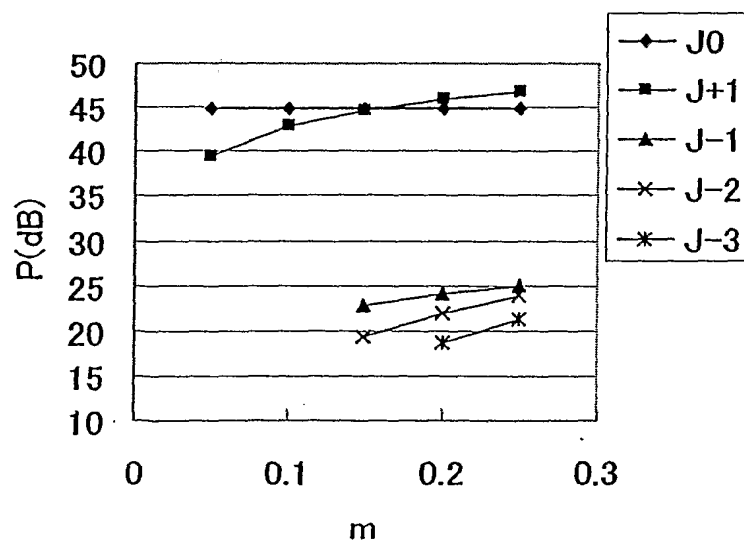
第9図



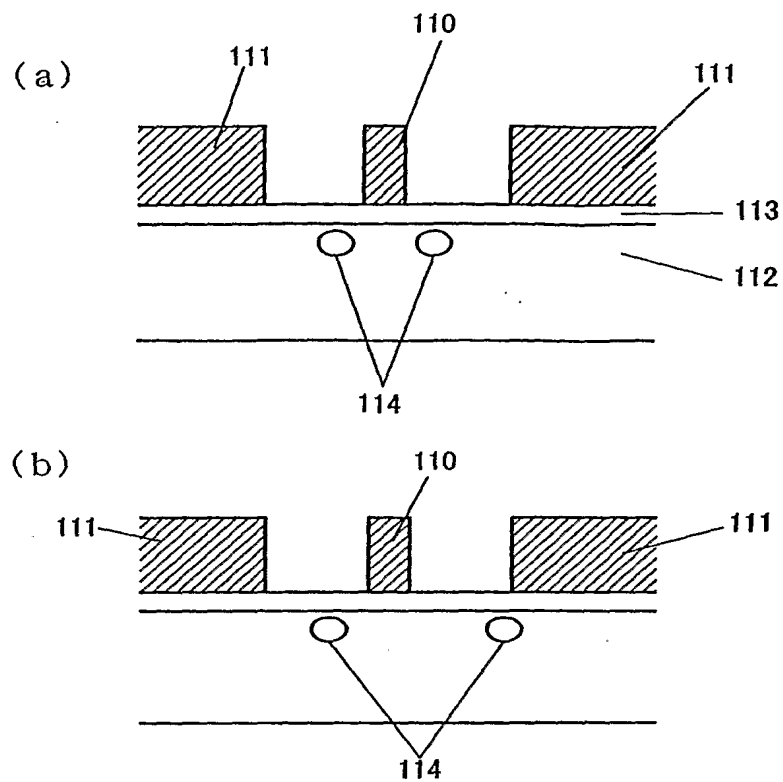
(b)



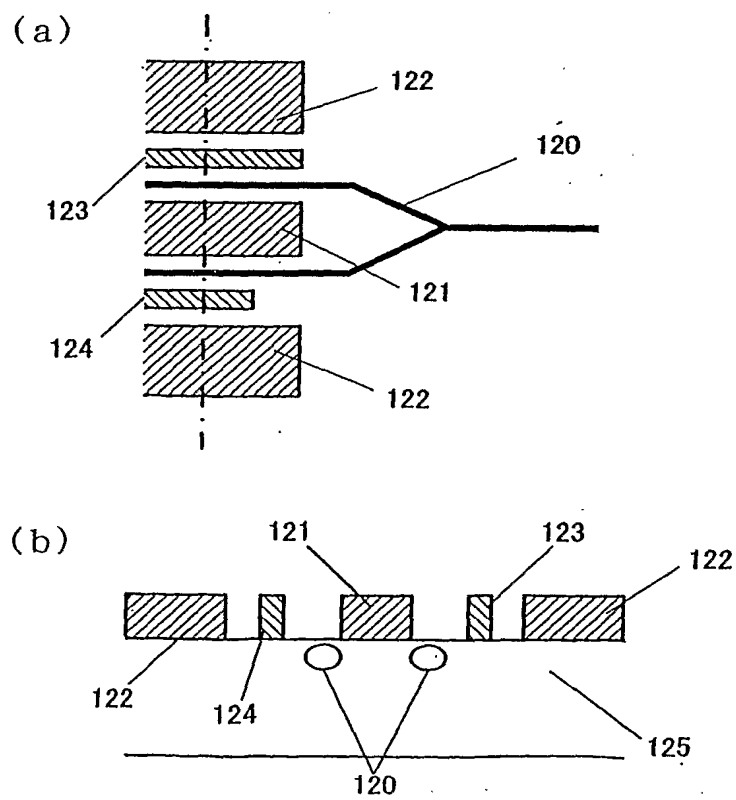
(c)



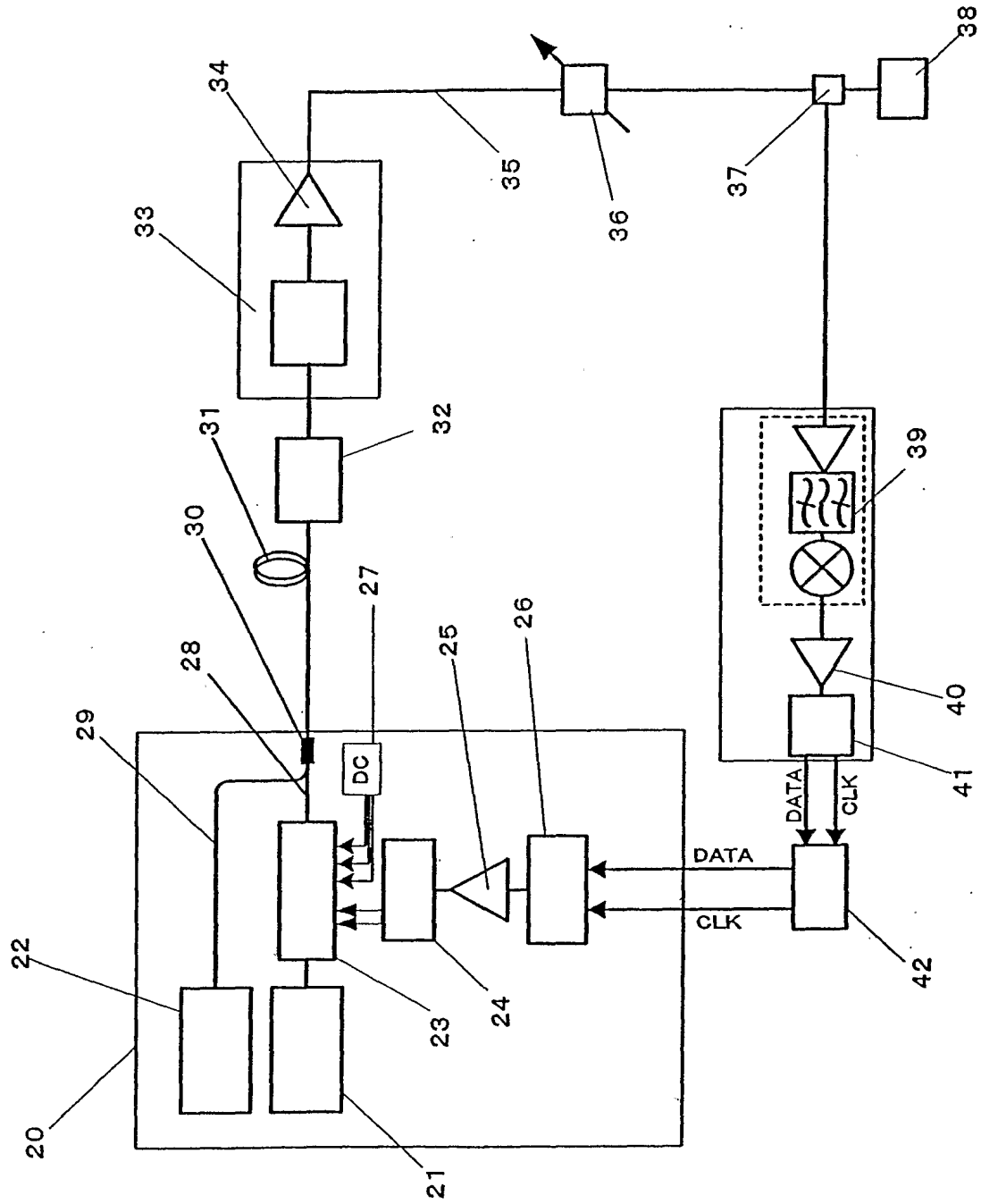
第 1 0 図



第 1 1 図







VIII-5-1	不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て(規則4.17(v)及び51の2.1(a)(v)) 氏名(姓名)	本国際出願 に関し、 住友大阪セメント株式会社 は、本国際出願の請求項に記載された対象が以下のように開示されたことを申し立てる。
VIII-5-1(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-1(ii)	開示の日付:	2003年 10月 24日 (24. 10. 2003)
VIII-5-1(iii)	開示の名称:	光ミリ波ビート信号生成方法を用いた自己ヘテロダイ ン伝送方式によるリモートアンテナシステムに関する 検討
VIII-5-1(iv)	開示の場所:	第1回マイクロ波・ミリ波フォトニクス (MWP) 研究会 ／社団法人電子情報通信学会
VIII-5-1(v)	本申立ては、次の指定国のためになされたものである。:	すべての指定国

VIII-5-2	不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て(規則4.17(v)及び51の2.1(a)(v)) 氏名(姓名)	本国際出願 に関し、 独立行政法人通信総合研究所 は、本国際出願の請求項に記載された対象が以下のように開示されたことを申し立てる。
VIII-5-2(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-2(ii)	開示の日付:	2003年 10月 24日 (24. 10. 2003)
VIII-5-2(iii)	開示の名称:	光ミリ波ビート信号生成方法を用いた自己ヘテロダイ ン伝送方式によるリモートアンテナシステムに関する 検討
VIII-5-2(iv)	開示の場所:	第1回マイクロ波・ミリ波フォトニクス (MWP) 研究会 ／社団法人電子情報通信学会
VIII-5-2(v)	本申立ては、次の指定国のためになされたものである。:	すべての指定国

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003852

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/00Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
IEEE Explore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-91999 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 31 March, 2000 (31.03.00), Full text; all drawings (Family: none)	1 2-13
Y	JP 2004-80409 A (Communications Research Laboratory), 11 March, 2004 (11.03.04), Full text; all drawings (Family: none)	2-13
Y	Kaoru HIGUMA et al., "X Cut LiNbO <sub>3</sub> o Mochiita Hikari Shuhasu Shifta/SSB-SC Henchoki no Kaihatsu", Shingaku Giho, Vol.101, No.656, pages 59 to 64	2, 3, 6, 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
28 May, 2004 (28.05.04)Date of mailing of the international search report  
15 June, 2004 (15.06.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003852

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Kazuto NOGUCHI et al., 'Millimeter-Wave Ti:LiNbO <sub>3</sub> Optical Modulators', IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol.16, No.4, pages 615 to 619, April, 1998	7, 8
Y	Hiroshi MURATA et al., 'Novel Guided-wave Single-sideband Electrooptic Modulators by Using Periodically Domain-inverted Structure', Proceedings of the Conference on Lasers Electro-Optics 2002, (CLEO 2002), CTuK14, pages 204 to 205, May, 19-24(21), 2002, LongBeach, CA, USA	7, 8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H04B 10/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H04B 10/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
IEEE Explore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 2000-91999 A (松下電器産業株式会社) 2000. 03. 31, 全文全図、(ファミリーなし)	1 2-13
Y	J P 2004-80409 A (独立行政法人通信総合研究 所) 2004. 03. 11, 全文全図、(ファミリーなし)	2-13
Y	日隈 薫 他, "XカットLiNbO <sub>3</sub> を用いた光周波数シフタ/SSB-S C変調器の開発", 信学技法, Vol. 101, No. 656, p. 59-64, 25. 2. 2002	2, 3, 6, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28. 05. 2004

国際調査報告の発送日

15. 6. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

前田 典之

5 J

9 0 7 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3534

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	Kazuto Noguchi et al, 'Millimeter-Wave Ti:LiNbO <sub>3</sub> Optical Modulators', IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 4, p. 615-619, April 1998	7, 8
Y	Hiroshi Murata et al, 'Novel Guided-wave Single-sideband Electrooptic Modulators by Using Periodically Domain-inverted Structure', Proceedings of the Conference on Lasers and Electro-Optics 2002 (CLEO2002), CTuK14, pp. 204-205, May 19-24(21), 2002, Long Beach, CA, USA.	7, 8